

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie (Bakalářské studium)

Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Helena TOMANOVÁ

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ HODNOTY UV INDEXU V ČR

FACTORS AFFECTING UV INDEX IN THE CZECH REPUBLIC

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Lucie Pokorná, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: RNDr. Ladislav Metelka, Ph.D.

Praha, 2018

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 11. 7. 2018

.....
Helena Tomanová

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé práce paní RNDr. Lucii Pokorné, Ph.D. za hodnotné připomínky, pomoc se zpracováním dat, trpělivost a kvalitní vedení této práce. Rovněž bych chtěla poděkovat Solární a ozónové observatoři v Hradci Králové za poskytnutá data a panu RNDr. Ladislavu Metelkovi, Ph.D. za odborné konzultace. Velké poděkování také patří příteli Ondřeji za rady při analýze dat a neustálé podpoře při psaní. V poslední řadě také děkuji svým rodičům za podporu při studiu a za trpělivost v době psaní této práce.

Zadání bakalářské práce

Téma práce: Faktory ovlivňující hodnoty UV indexu v ČR

Cíle práce:

Cílem práce je vyhledat v odborné literatuře obecné vztahy mezi UV indexem a jednotlivými geografickými a meteorologickými parametry. S použitím hodnot UV záření a dalších parametrů naměřených na vybraných stanicích v ČR ověřit vliv zeměpisné šířky, nadmořské výšky, přítomnosti sněhové pokrývky a množství oblačnosti na hodnoty UV indexu.

Použité pracovní metody, datové zdroje:

Studovanou oblastí je Česká republika; pro studii byly vybrány 4 stanice, kde se měří erytémové UV záření: Kuchařovice, Košetice, Hradec Králové, Labská bouda. Stanice se nacházejí zhruba na stejné zeměpisné délce, svým rozložením reprezentují všechny zeměpisné šířky a nadmořské výšky, které se na území ČR nacházejí. Měření UV záření probíhala v desetiminutových intervalech v období 2011-2017, stejně jako měření globálního slunečního záření ve viditelné části spektra. Dále je na každé stanici k dispozici údaj o charakteru půdy pro každý den. Hodnoty UV záření je nutno převést na UV index a pro jednotlivé desetiminutové intervaly je potřeba určit úhel výšky slunce nad obzorem. Dále se případy budou posuzovat v jednotlivých intervalech podle úhlu dopadajících paprsků. Porovnáním hodnot UV indexu na jednotlivých stanicích bude možné určit vliv nadmořské výšky a zeměpisné šířky. Údaje o globálním záření poslouží pro posouzení vlivu oblačnosti na UV index. Dále bude prostřednictvím albeda zemského povrchu studován vliv přítomnosti sněhové pokrývky na hodnoty UV indexu na stanici Labská bouda.

Datum zadání: 30. 11. 2017

Jméno studenta: Helena Tomanová

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Lucie Pokorná, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Faktory ovlivňující hodnoty UV indexu v ČR

Abstrakt

UV záření je v poslední době dosti probírané téma, spojové zejména s úbytkem ozónu ve stratosféře. Toto záření má jak pozitivní, tak negativní vliv na člověka. Proto byl zaveden tzv. UV index vyjadřující biologický efekt UV záření na lidské zdraví. Tato práce se zabývá geografickými parametry a meteorologickými podmínkami, které ovlivňují hodnoty UV indexu. V teoretické části je detailně popsáno krátkovlnné záření označované jako UV záření (metody jeho měření, a jeho vliv na zdraví člověka a ostatních živých organismů). Obsahuje také definici pojmu UV index a uvádí faktory ovlivňující jeho hodnoty: zeměpisnou šířku, výšku Slunce nad obzorem, nadmořskou výšku, množství oblačnosti a charakter aktivního povrchu. V praktické části jsou zpracovány hodnoty UV indexu na čtyřech stanicích v České republice za období 2011-2017. Výsledky ukazují, že hodnoty UV indexu jsou při zatažené obloze výrazně nižší než za jasného počasí, a také že přítomnost sněhové pokrývky zvyšuje účinky UV záření zejména při vysokých výškách Slunce nad obzorem.

Klíčová slova: Česká republika, globální záření, nadmořská výška, sněhová pokrývka, UV index, zeměpisná šířka

Factors affecting UV index in the Czech Republic

Abstract

Recently, the shortwave radiation signified as UV radiation became a popular topic, connected mainly to the loss of ozone in the stratosphere. This radiation has both positive and negative effects on humans. Therefore, the UV index was introduced, which express the biological effect of UV radiation on human health. The thesis describes the geographical parameters and meteorological conditions affecting the values of UV index. The UV radiation its measurement methods, and its effects on human health and other living organisms is described in detail in the theoretical section. It also contains the definition of UV index and the factors affecting the UV index magnitude: latitude, the height of the sun above the horizon, altitude, cloud cover and the character of the active surface. Links between UV index and individual parameters are checked in the practical section using the UV index measurement from four stations in the Czech Republic during the period 2011 – 2017. The research shows, that the UV index is significantly lower for an overcast sky in comparison with clear sky. The present of snow cover increases the effects of UV radiation, particularly for the high elevations of the sun above the horizon.

Key words: Czech Republic, global radiation, altitude, snow cover, UV index, latitude

Obsah

Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	8
Seznam použitých zkratk.....	9
1 Úvod	10
2 Vliv UV záření na člověka	15
2.1 Negativní a pozitivní účinky UV záření	15
2.2 Ochrana před UV zářením	16
3 Metody měření UV záření.....	18
3.1 Pozemní měření	18
3.1.1 Spektrofotometry	19
3.1.2 Širokopásmové radiometry	20
3.1.3 Úzkopásmové radiometry	21
3.2 Družicové měření.....	21
4 Zavedení pojmu UVI.....	23
5 Závislost UV indexu na geografických parametrech a meteorologických podmínkách.....	25
6 Vlastní případová studie na vybraných stanicích v ČR.....	29
6.1 Data	29
6.2 Metody	29
6.3 Výsledky	31
6.3.1 Vliv výšky slunce nad obzorem	31
6.3.2 Vliv albeda	33
6.3.3 Vliv oblačnosti a nadmořské výšky	34
7 Diskuse	36
8 Závěr.....	38
9 Seznam použité literatury	40

Seznam obrázků

Obr. 1: Elektromagnetické spektrum	11
Obr. 2: Vývoj množství CFC látek (chlorofluorokarbonů) v atmosféře	13
Obr. 3: Relativní citlivost oka a kůže na UV záření různých vlnových délek	15
Obr. 4: Brewerovy spektrometry B098 a B184 na SOO Hradec Králové	20
Obr. 5: UV-Biometr typu Robertson-Berger na střeše SOO HK	21
Obr. 6: Denní erytémové dávky UV záření (s vlivem oblačnosti)	22
Obr. 7: UV index a standartní dávky erytémového záření (SED)	24
Obr. 8: Průběh hodnot UV indexu během jasného dne	25
Obr. 9: Denní výkyvy celkového množství ozónu v roce 2009 v rovníkové oblasti (Kampala-Uganda) a v oblasti s vysokou zeměpisnou šířkou (Oslo-Norsko)	28
Obr. 10: Četnosti měření v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření pro jednotlivé stanice	30
Obr. 11: Hodnoty UVI, v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření (0,00-31,99)	32
Obr. 12: Hodnoty UVI, v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření (32,00-63,99 a více)	33
Obr. 13: Hodnoty UVI na stanici Labská bouda, při daných hodnotách albeda, v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření	34
Obr. 14: Hodnoty UVI při jasné a zatažené obloze na stanicích Hradec Králové a Labská bouda v intervalu úhlu dopadajícího slunečního záření 44,00-55,99	35

Seznam tabulek

Tab. 1: Typické hodnoty CMF pro různé typy a množství oblačnosti.....	26
Tab. 2: Tabulka s geografickými parametry jednotlivých stanic	29
Tab. 3: Stav půdy a hodnoty albeda v UV oblasti.....	31

Seznam použitých zkratk

CFC – chlorofluorokarbony

CMF – faktor modifikace oblaků

ČHMU – Český hydrometeorologický ústav

EOS – Earth Observing System

EUV – erytémové ultrafialové záření

OMI – Ozone Mapping Instrument

SED – standartní dávka erytémového záření

SEČ – středoevropský čas

SOO HK – Solární a ozónová observatoř Hradec Králové

SPF – index ochrany proti kožnímu erytému

SZA – solární zenitový úhel

TOMS – Total Ozone Mapping Spectrophotometer

UVI – UV index

UV záření – ultrafialové záření (100-400 nm)

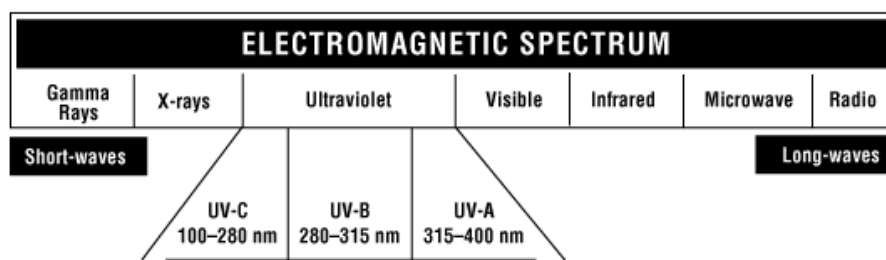
WOUDC – světové centrum pro ozón a UV data

1 Úvod

Sluneční záření je důležitým meteorologickým prvkem, který výrazně ovlivňuje život na Zemi. Ultrafialové záření (UV) tvoří relativně malou část veškerého slunečního záření, které dopadá na zemský povrch. Má však nezastupitelnou roli v mnoha procesech v biosféře. Přirozeným zdrojem UV záření je Slunce. Pokud by veškeré UV záření pronikalo až na zemský povrch, byly by jeho účinky pro život člověka na Zemi smrtící (Allaart a kol., 2004). UV záření je pohlcováno při průchodu plynnými obaly Země. Většina záření je zachycena již v ionosféře a další část poté v nižších vrstvách atmosféry, z nichž se na zachytu nejvíce podílí stratosféra díky vysokému obsahu ozónu.

Ultrafialové záření je elektromagnetické vlnění s vlnovými délkami kratšími než viditelné světlo. Zaujímá spektrální oblast vlnových délek od 100 až 400 nm. Podle toho, jaká je intenzita UV záření při zemském povrchu a jeho biologické účinky, dělíme oblast UV záření na 3 podoblasti (Metelka, 2018):

- UV-A (vlnové délky 315 až 400 nm): Jedná se o dlouhovlnné záření a nejméně nebezpečnou složku UV záření. Není absorbováno ozónem a k zemskému povrchu prochází jen s minimálním zeslabením, a tedy i v poměrně vysokých intenzitách. Tvoří 99 % UV záření, které dopadá na zemský povrch
- UV-B (vlnové délky 280 až 315 nm): Středněvlnná část tohoto záření, která je absorbována v ozónosféře, ale část prochází až k zemskému povrchu. Toto záření může být při vyšších intenzitách z biologického hlediska nebezpečné, protože zpravidla způsobuje akutní a chronické poškození kůže.
- UV-C (vlnové délky 100 až 280 nm): Krátkovlnné záření, které je z hlediska biologických efektů nejnebezpečnější. Je zcela absorbováno ozónovou vrstvou a molekulárním kyslíkem. UV-C záření se výrazně se podílí na vzniku ozónu ve stratosféře prostřednictvím disociace molekul kyslíku.



Obr. 1: Elektromagnetické spektrum

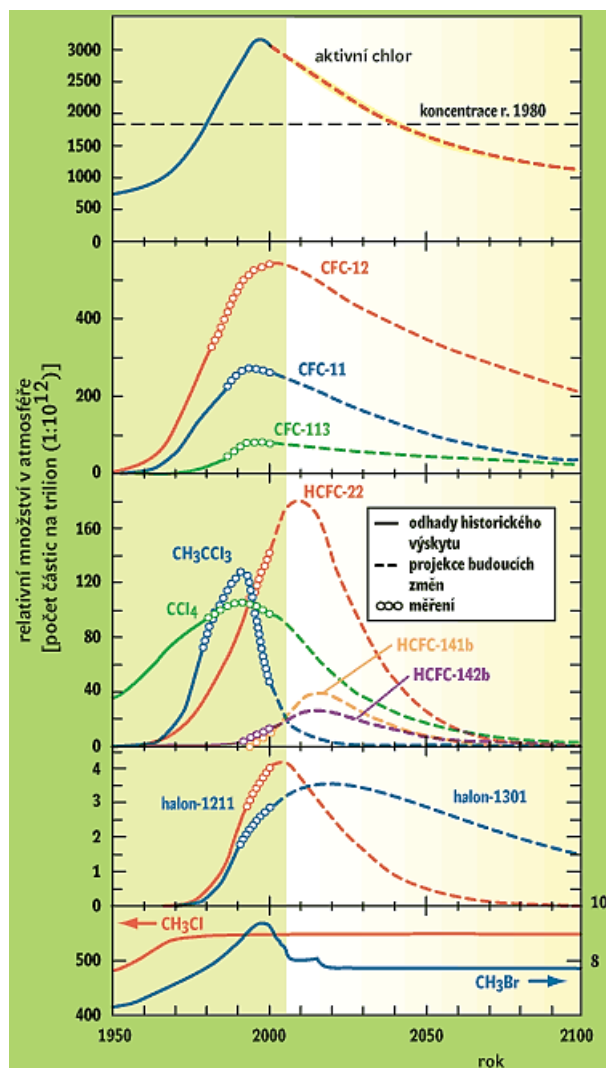
(zdroj: http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ultravioletradiation.html)

Ozón je namodralý plyn, jehož molekuly jsou složeny ze tří atomů kyslíku (O_3). Nachází se především ve stratosféře ve výškách mezi 20-30 km. Tato oblast s relativně vysokou koncentrací ozónu je známa jako ozónová vrstva. Vzhledem k úbytku stratosférického ozónu, jehož vrstva nás chrání před nadměrných průnikem UV-B záření (oblast od 280 do 320 nm), je téma UV záření velice aktuální. Příčinou úbytku ozónu je především produkce chlorofluorokarbonů označovaných jako tzv. CFC. Mezi tyto látky se řadí freony, halony a oxidy dusíku, které jsou produkovány do atmosféry lidskou činností a mohou zde působit až desítky let. Freony sloužily jako náplně do chladících systémů, nebo jako průmyslová rozpouštědla, ale v dnešní době jsou už zakázány. Oxidy dusíku vznikají jako emise motorů tryskových letadel, raketových paliv a umělých hnojiv. Tyto látky se skládají ze stabilních molekul, ale pokud se dostanou do oblasti vrstvy stratosférického ozónu UV záření rozruší jejich vazby a uvolní volné atomy chlóru a dalších látek, které mohou reagovat (NO, H, OH, F, Br). Protože je ozón nestabilní molekula tvořená třemi atomy kyslík, začnou volné atomy chlóru reagovat s molekulami ozónu na oxidy chlóru a molekulu kyslíku. Oxid chlóru je však velmi snadno rozrušován volnými atomy kyslíku a při této reakci je uvolněn atom chlóru. Ten může ničit další molekulu ozónu a celý cyklus se znovu opakuje. Extrémním případem zeslabení ozónové vrstvy je tzv. ozónová díra, která se od začátku 80. let pravidelně vytváří během 3. a 4. jarních měsíců nad Antarktidou.

Úbytek ozónu znamená velké ohrožení pro planetu, a tak vznikla Vídeňská úmluva na ochranu ozónové vrstvy (1985), jejíž součástí je tzv. Montreálský protokol. Tento protokol omezuje výrobu a spotřebu látek ničících ozón. Pod tuto úmluvu se podepsalo již 188 zemí a mezinárodních institucí včetně České republiky. Konkrétní důkazy o pozitivních vzbách Montrealského protokolu byly zaznamenány na referenčních observatořích (umístěné v superčistých lokalitách), které měří obsah těchto látek v atmosféře (Vaníček, 2005). Podle Vaníčka (2005) dojde k obnovení ozónové vrstvy přibližně kolem r. 2050. Postupný vývoj úbytků látek ovlivňující ozón můžeme vidět na Obr. 2. Pro budoucnost je ale důležité, aby

obnova ozónové vrstvy byla součástí celkové ochrany klimatu, protože atmosférický ozón je jeho důležitou součástí. Pokud bychom se koukali na vztah mezi poklesem ozónu a růstem UV-B zářením, tak tento vztah není jednoduchý. UV-B záření není pohlcováno pouze ozónem, ale i atmosférickými aerosoly, oblaky a prachem. Znečištěná atmosféra v městských aglomeracích má např. za následek zeslabení ultrafialového záření dopadajícího na zemský povrch o 5-30 % ve srovnání s okolím (Kalvová, 1997). Herman (2010) analyzoval na základě družicových dat, jak se změnilo množství UV záření za bezoblačných podmínek, a zjistil, že celosvětově došlo ke zvýšení množství UV záření za období 1979–2008.

Od poloviny 80. let nad naším územím výrazně ubylo ozónu v zimní části roku (od prosince po duben). Toto zeslabení ozónové vrstvy je důsledkem chemického rozkladu ozónu ve vyšších šířkách a v posledních letech se stabilizovalo na úroveň okolo 5–7% (Vaníček, 2005). V České republice máme jednu z nejdelších řad měření celkového ozónu v Evropě. Od roku 1962 se tyto měření provádí na Solární a ozónové observatoři Českého hydrometeorologického ústavu v Hradci Králové (SOO HK).



Obr. 2: Vývoj množství CFC látek (chlorofluorokarbonů) v atmosféře (Vaniček, 2005)

UV záření je jak škodlivé, tak i prospěšné pro organismy. Jedná se především o UV-B část ultrafialového záření, které díky úbytku ozónu dopadá na zemský povrch ve vyšších dávkách než dříve. Je nebezpečné především tím, že narušuje molekuly DNA, což vede často k nejrozličnějším mutacím jak u rostlin, tak u živočichů. U lidí spouští důležité chemické reakce k vytváření prospěšného vitamínu D. Pro člověka je však tohoto záření potřeba jen ve velmi malé množství, proto nadměrná dávka tohoto záření je jak pro člověka, tak pro živočichy škodlivá. U člověka je UV záření vystavena hlavně kůže. Může docházet ke zčervenání (erytému) kůže a v horších případech k rakovině kůže. Dále je ohroženo poškození rohovky a spojivky u očí. U většiny živočichů je kůže lépe chráněna před UV-B zářením než u člověka. Ochrannou vrstvu jim tvoří srst, a proto nejvíce ohrožená jsou místa s minimálním pokrytím srstí a očí. U rostlin vliv UV-B záření závisí na druhu rostliny a její morfologii, především orientaci listů vzhledem k dopadajícímu záření (Barnes a kol., 1990). Z širšího hlediska u rostlin toto záření ovlivňuje účinnost fotosyntézy, změny v růstu rostliny a u listů dochází často ke změně

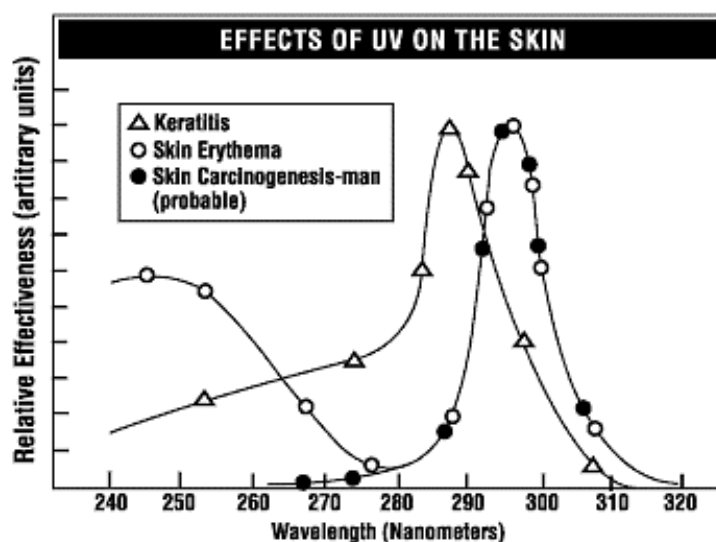
plochy, zhnědnutí a vzniku typických skvrn a puchýřků (Májková a Litschmann, 1998). UVB záření proniká velmi snadno vodou až do hloubky několika metrů a likviduje plankton. Ten se významně podílí na produkci kyslíku a spotřeby oxidu uhličitého. Jeho úbytek tedy může vést k menší spotřebě oxidu uhličitého a nepřímo tak přispívat ke globálnímu oteplování.

Cílem této práce je vyhledat v odborných publikacích, jak se obecně mění UV index vlivem nadmořské výšky a zenitového úhlu Slunce a jaký je vztah mezi UV indexem a vybranými meteorologickými parametry (množství oblačnosti, albedo, množství slunečního svitu...). S použitím hodnot naměřených na stanicích v ČR (Hradec Králové, Kuchařovice, Košetice a Labská bouda) tyto vztahy ověřit. Data ze stanic mi byla poskytnuta ze Solární a ozónové observatoře v Hradci Králové (SOO HK).

2 Vliv UV záření na člověka

2.1 Negativní a pozitivní účinky UV záření

Naše atmosféra, a především ozónová vrstva, pohlcuje většinu slunečního UV záření. Ne všechno UV záření je atmosférou zadrženo. Např. UVB záření (280-315 nm) je ozónovou vrstvou absorbováno jen částečně. Část UVB záření, která dopadne na zemský povrch, může být absorbována bílkovinami a DNA a má škodlivé účinky na organismy (de Gruijl, 1997). Protože UV záření proniká jen velmi málo do hloubky tkání, nejvíc na ozáření reaguje kůže, oční spojivka, rohovka a u záření UVA i oční čočka. Na Obr. 3 můžeme vidět relativní citlivost oka a kůže na UV záření různých vlnových délek. Jak můžeme vidět, tak oko je nejcitlivější na vlnové délky zhruba od 280 do 290 nm a kůže zhruba od 290 do 300 nm.



Obr. 3: Relativní citlivost oka (keratitis) a kůže (skin) na UV záření různých vlnových délek (zdroj: http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ultravioletradiation.html)

Toto záření má pro člověka jak pozitivní, tak i negativní účinky. V rozumném množství má UV-záření řadu potřebných a pozitivních efektů. UV záření je potřebné především k tvorbě vitamínu D, který hraje významnou roli pro látkovou výměnu vápníku. Dnes je ale známo, že ke vzniku potřebné dávky vitamínu D postačí krátká expozice na UV záření, které až z 90 % proniká i přes zataženou oblohu (Lajčíková a Pekárek, 2009). Podporuje také tvorbu melatoninu a v medicínské terapii se UV záření používá k léčbě lupénky a k fotochemoterapii. Vyšší dávky UV záření však působí na lidské zdraví negativně, vyvolává tzv. erytém a při delším vystavení (dávce) tohoto záření může způsobit vznik rakoviny kůže a nádorových onemocnění. Pojem erytém je v lékařství definován jako červené zbarvení kůže, způsobené rozšířením krevních cév a zvýšeným prokrvením. Může vznikat řadou různých způsobů, např.

v důsledku zánětu, alergie, poranění, chemického podráždění, působením tepla, ale i ultrafialového záření (Metelka, 2018). Erytémová aktivita UV záření je nízká do 9:00 a po 17:00 a nejvyšší je mezi 13. až 15. hodinou (Lajčíková a Pekárek, 2009). Dlouhodobým působením UV-A záření dochází také ke stárnutí pleti, vzniku vrásek a mohou vznikat sluneční alergie a pigmentové skvrny. V dermatologii je kůže stále více uznávána jako důležitá součást našeho imunitního systému, a proto může docházet při nadměrné expozici UV záření k potlačení imunity proti infekcím (de Gruijl, 1997). Kromě zrudnutí kůže a dalších kožních onemocnění může být poškozen i zrak. Oči jsou nejvíce citlivé na UV záření od 210 nm do 320 nm (UV-C a UV-B). Maximální absorpce rohovkou se vyskytuje kolem 280 nm (CCOHS, 2016). UV záření škodí zraku v jinou denní dobu než kůži. Míra dopadajícího UV záření do oka také závisí na denní době a poloze Slunce v zorném poli oka. (Sasaki a kol., 2011). Mezi příklady očních poruch způsobených expozicí ultrafialového záření patří zánět spojivek, sněžná slepota, poškození sítnice a absorpce UV-A záření v čočce může být příčinou vzniku katarakty (zakalení čočky v oku).

Dávka UV záření je pro každého člověka různá, závisí na vnějších podmínkách (zeměpisné poloze, atmosférických podmínkách, času expozice ad.). Každý jedinec má v kůži určité množství kožního pigmentu (melaninu), který nás chrání před vznikem erytému. Na základě nutnosti přizpůsobit se přírodním podmínkám vznikly v různých populacích rozdíly v pigmentaci kůže, které jsou dnes geneticky dány. Podle toho, jak je kůže náchylná ke zrudnutí (zhnědnutí) dělí se populace v Evropě do čtyř základních kožních fototypů.

- Fototyp I: kůže vždy zrudne, nikdy nezhnědne
- Fototyp II: kůže obvykle zrudne a málo hnědne
- Fototyp III: kůže vždy zhnědne a někdy zrudne
- Fototyp IV: kůže vždy zhnědne a nikdy nezrudne

Obvykle platí, čím má člověk světlejší kůži, vlasy a oči, tím je číslo fototypu nižší a tím je méně odolný vůči slunečnímu záření. V našich zeměpisných podmínkách jsou pro běžnou populaci kritickým obdobím polední hodiny jarních měsíců, než se vytvoří přirozená ochranná pigmentace, závisající na typu pokožky.

2.2 Ochrana před UV zářením

Před UV zářením by se měl chránit každý, především malé děti a lidé vyšších věkových skupin. Dnes je známo, že pravidelná ochrana v dětství snižuje riziko následků z UV záření v

dospělosti až o 70% (Lajčíková a Pekárek, 2009). Tomuto záření se vystavujeme neustále, ve vodě (vodní hladina odráží 40 až 80% UV záření), na sněhu a částečně i ve stínu, kde je expozice UV záření za letního dne cca 50% (Lajčíková a Pekárek, 2009). K ochraně očí postačí nosit sluneční brýle. Je potřeba si vybrat brýle se správnými skly, tj. s dostatečným UV filtrem (tmavá skla). Na sluneční brýle bychom neměli zapomínat ani v zimě. V tomto období, kdy je možnost výskytu sněhové pokrývky, dochází k maximálnímu odrazu slunečních paprsků a zvyšování intenzity UV záření díky vysokému albedu. V těchto situacích dochází k nejvážnějším očním poruchám (vznik šedého zákalu, sněžná slepota, zánět spojivek). Na ochranu kůže, k zabránění vzniku erytému (rudnutí kůže) nebo dalším kožním onemocněním způsobeným UV zářením, používáme jako ochranu vhodné oblečení a na partie jako je například obličej, aplikujeme ochranné krémy na opalování (opalovací mléka). Opalovací krémy jsou hodnoceny podle faktoru ochrany před slunečním zářením (SPF), což je index ochrany proti kožnímu erytému. Čím vyšší je SPF, tím více ochrany nabízí. Kanadská společnost proti rakovině doporučuje ochranu proti slunečnímu záření s širokým spektrem (chrání proti UV-A a UV-B paprskům) s SPF 30 nebo vyšším (CCOHS 2016). V létě, kdy je naše pokožka vystavena UV záření nejvíce, bychom se neměli vystavovat slunečnímu záření v poledních hodinách, kdy je možnost vzniku erytému dvakrát větší než v odpoledních hodinách (v poledne je největší denní intenzita UV záření) (WHO, 2014). Tyto doporučení nabývají na významu s faktory, která zvyšují intenzitu UV záření (albedo, nadmořská výška...)

3 Metody měření UV záření

Specifikace přístrojů využívaných pro měření UV záření jsou založeny na cílech výzkumu UV záření, mezi něž patří například odhalení trendů celkového (rozptýleného + přímého) UV záření, pochopení geografických rozdílů v celkovém UV záření, získání informací o skutečných hodnotách UV záření dopadajícího na zemský povrch a poskytování informací o UV indexu (Kerr a Seckmeyer, 2003). Měření UV záření probíhá jednak na pozemních stanicích a také pomocí družicových pozorování. Přístroje umístěné na zemském povrchu jsou přesnější, poskytují však pouze bodové informace. Satelitní měření mají celosvětové (globální) pokrytí, v některých případech i s rozlišením nižším než 1 km². Intenzita UV záření se však výrazně mění v závislosti na vlnové délce, proto jsou k měření tohoto záření potřeba přístroje s vysokým dynamickým rozsahem, spektrálním rozlišením a vysokou přesností měření.

Aby byly všechny tyto požadavky dodrženy je potřeba přístroje často kalibrovat (Cancillo a kol., 2007). Přesnost měření všech současných pozemních přístrojů značně závisí na úhlu dopadajícího záření (SZA= solární zenitový úhel). Intenzita $E(\theta)$ naměřená přístrojem pod úhlem dopadu θ (měřen od kolmice) by měla mít kosinový průběh ($E(\theta)=E(0)*\cos(\theta)$). Ale díky chybě přístroje, je průběh $E(\theta)$ jiný. Proto se zavádí tzv. kosinová chyba přístroje $X(\theta)$. $X(\theta)$ lze zapsat následovně (Feister a kol., 1997):

$$X(\theta) = \frac{E(\theta)}{E(0^\circ) * \cos(\theta)}$$

Podle Seckmeyera a kol. (1999) se kosinová chyba i u nejkvalitnějších přístrojů pohybuje kolem 10 %.

V posledních letech došlo k výraznému zlepšení geografického pokrytí nástrojů pro měření UV záření. Údaje o UV záření jsou nyní snadněji dostupné prostřednictvím mezinárodních datových archivů, jako je Světové centrum pro ozón a UV data (WOUDC) a Evropská Databáze vytvořená prostřednictvím výzkumných projektů EU (EDUCE).

3.1 Pozemní měření

V rámci pozemních stanic se k měření UV záření využívají tři typy přístrojů. Jedná se o spektrální (spektrofotometry), širokopásmové a úzkopásmové radiometry (WMO, 2008). Při měření UV záření pozemními přístroji se obvykle hodnotí záření dopadající na rovnou

horizontální plochu. Jednotlivé přístroje mají rozdílné vlastnosti pro měření UV záření. Spektrofotometry slouží k měření spektra UV záření se spektrálním rozlišením 1 nm a méně, úzkopásmové radiometry mají zpravidla několik kanálů v rozsahu spektra UV záření s šířkou pásma 2–10 nm, a širokopásmové přístroje mají pouze jeden kanál pokrývající oblast UV záření se spektrální citlivostí, aby mohly měřit biologicky účinné UV záření (Juzeniene a kol., 2011).

3.1.1 Spektrofotometry

Spektrofotometry jsou považovány za jedny z nejpřesnějších pozemních měření. Ale protože se jedná o velmi nákladné přístroje, je celosvětové pokrytí těmito radiometry poněkud malé (Dahlback, 2008). Tyto přístroje rozkládají UV záření podle vlnové délky do pásem o šířce 1 nm nebo méně. Spektrofotometry tedy umožňují zjistit tvar spektra a intenzitu záření v závislosti na vlnové délce. Jedním z nejrozšířenějších skenovacích spektrofotometrů je Brewerův spektrofotometr (viz. Obr. 4). Využívá se k měření celkového ozónu a koncentrace oxidu siřičitého v atmosféře a umožňuje právě také UV spektrální skenování přímého i celkového (rozptýleného + přímého) slunečního záření. Jeden z těchto přístrojů vlastní i Solární a ozónová observatoř v Hradci Králové. Český hydrometeorologický ústav měří od roku 1994 UV spektra slunečního záření pomocí širokopásmových Brewerových spektrofotometrů (Metelka, 2018). Dnes je po světě rozmístěno více než 150 Brewerových spektrofotometrů (Dahlback, 2008).



Obr. 4: Brewerovy spektrometry B098 a B184 na SOO Hradec Králové

(zdroj: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/novy/2014/Meteo-2014-01.pdf>)

3.1.2 Širokopásmové radiometry

Tyto přístroje, měří ozáření v širokém rozsahu vlnových délek větších než 10 nm. Slouží k měření buď absolutní intenzity UV záření, nebo záření spektrálně váží například podle erytémového akčního spektra (EUV), z kterého lze přímo vypočítat UV index (Kerr a Seckmeyer, 2003). Na rozdíl od spektrofotometrů jsou mnohem méně nákladné a jednodušší. Jejich nevýhodou je značná nestabilita citlivosti jejich měření v čase, proto jsou nevhodné pro detekci trendu a k využití vyžadující vysokou přesnost a stabilitu přístroje. Podle Dahlbacka (2008) jsou velice vhodné pro odhady vlivu UV záření na lidskou kůži. Přesnost měření přístroje je závislá zejména na zenitovém úhlu Slunce (SZA), kde je důležitá hlavně kosinová závislost. Jedním z nejpopulárnějších širokopásmových radiometrů je Robertson-Bergerův UV-Biometr (viz. Obr. 5), který se používá na měření UV záření na stanicích ČHMÚ v Kuchařovicích, Košeticích a na Labské Boudě.



Obr. 5: UV-Biometr typu Robertson-Berger na střeše SOO HK (Vaniček a Staněk, 2014)

3.1.3 Úzkopásmové radiometry

Úzkopásmové radiometry měří UV záření ve 4-7 kanálech s šířkou pásma od 2 do 10 nm. Měření na všech kanálech je provedeno s vysokou rychlostí, což je vhodné pro detekci náhlých změn intenzity dopadajícího UV záření (náhlé změny oblačnost, koncentrace aerosolů) (Dahlback, 2008). Mají menší přesnost než spektrofotometry. Tento typ přístroje má ale nízké pořizovací náklady a je jednodušší na obsluhu. Jsou vhodné pro použití ve vzdálených lokalitách a v současné době se používají v sítích pro monitorování UV záření, např. v Evropě, Africe, Jižní Americe a USA (Dahlback, 2008).

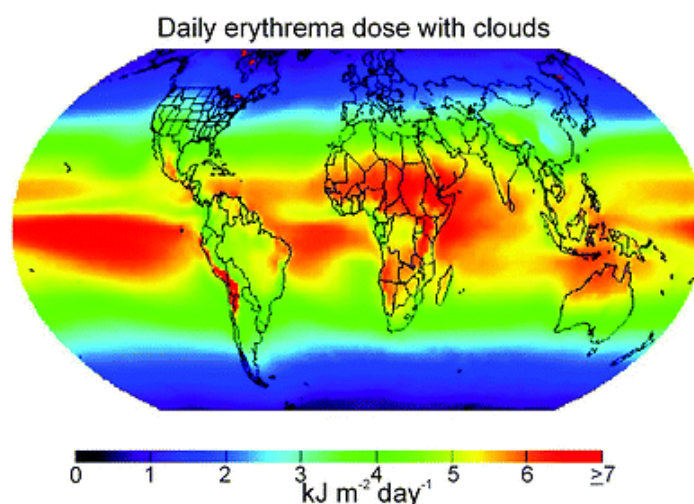
3.2 Družicové měření

I když jsou měření pozemními stanicemi nejpřesnější, jejich nevýhodou je, že stanice jsou rozmístěny nerovnoměrně. Satelitně odhadované hodnoty UV záření jsou založené na modelech sledujících pohyb elektromagnetických vln společně s měřením odrazivosti (Calbó a kol., 2005). Hlavním problémem této techniky je, že hodnoty získané satelitním měřením jsou velmi ovlivněné oblačností a množstvím aerosolů v atmosféře.

Odhady UV záření měřené satelitně, vycházejí ze zařízení pro měření ozónu. V dnešní době se pro monitoring UV záření používá přístroj OMI (Ozone Mapping Instrument). Jde o spektrometr, nacházející se na družici Aura. Ta je součástí dlouhodobé mise NASA s názvem EOS (Earth-Observing System) a na oběžnou dráhu byla vypuštěna 15. července 2004. OMI je charakteristický velmi dobrým prostorovým rozlišením (1 pixel o velikosti 13 x 24 km), což umožňuje prohlédnout skrze oblačnost (Levelt a kol., 2006). Detekuje sluneční záření odražené a absorbované složkami zemské atmosféry. OMI měří odražené sluneční záření v ultrafialové

a viditelné části v rozsahu vlnových délek 270 až 500 nm s využitím dvou kanálů se spektrálním rozlišením 0,5 nm. OMI algoritmus pro odvození povrchového UV záření je založen na algoritmu z TOMS (Total Ozone Mapping Spectrophotometer).

Předchůdcem OMI byl americký spektrometr TOMS, který je umístěný na družici Nimbus 7. Tento přístroj měřil změny celkového ozónu, které byly následně použity k výpočtu pronikání UV záření atmosférou (Wang a kol., 2000). Celkový ozónový mapovací spektrometr (TOMS), poskytuje od roku 1978 odhady pozemního erytémového UV záření (Calbó a kol., 2005). Tato data se využívají k odvození klimatologie celkového UV záření. Důležitý je silný nárůst UV dávek směrem k rovníku (viz Obr. 6).



Obr. 6: Denní erytémové dávky UV záření (s vlivem oblačnosti)

(zdroj: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2003/pp/b211155c#imgfig4>)

V současné době se věnuje velká pozornost validaci hodnot získaných satelitním měřením s pomocí údajů z pozemních přístrojů. Kazantzidis a kol. (2006), zabývající se porovnáváním družicově naměřených hodnot UV záření s pozemním měřením na čtyřech evropských stanicích, tvrdí, že data UV hodnot z TOMS nadhodnocují měřením z pozemních stanic o více než 20 %. I podle WMO (2002) jsou odhadované hodnoty UV záření z TOMS vyšší než hodnoty měřené na pozemních stanicích (měsíční průměry jsou rozdílné od 0 až 40% u čistých a znečištěných lokalit). Fioletov a kol. (2002) zjistili, že odhad erytémového UV záření z TOMS má vyšší shodu s pozemními měřeními u stanic, kde je nižší míra znečištění.

4 Zavedení pojmu UVI

V roce 2002 byl Světovou meteorologickou organizací (WMO) a Světovou zdravotnickou organizací definován tzv. UV index (UVI). UV index je mezinárodní standardizovaná bezrozměrná veličina vyjadřující biologický efekt UV záření na lidské zdraví (Lajčíková a Pekárek, 2009). Charakterizuje intenzitu slunečního ultrafialového záření dopadajícího na zemský povrch s možností vyvolat poškození kůže (kožní erytém) a další onemocnění způsobené tímto zářením (Allaart a kol., 2004; Metelka, 2018). Jeho hodnota se pohybuje od nuly výše, čím vyšší je hodnota, tím větší je pravděpodobnost poškození kůže a oka. Používá se k informování obyvatelstva o možném negativním vlivu UV záření na lidský organismus. Obyvatelstvo je informováno o očekávané maximální hodnotě UV indexu, a o celkové délce pobytu na slunci bez použití ochranných prostředků, nežli dojde k tzv. erytému (rudnutí kůže).

Hodnota UVI se vypočítá jako průměrné erytérové ultrafialové záření (EUV) ve W/m^2 násobené 40 za časovou jednotku (Vaníček a kol., 1999) podle vztahu:

$$UVI = 40 * EUV$$

Kde EUV je záření pohlcené lidskou pokožkou. Vypočítá se integrací spektrálního UV záření $I(\lambda)$ vynásobeného erytérovým akčním spektrem $W(\lambda)$ v mezích od 280 do 320 nm.

$$EUV = \int_{280 \text{ nm}}^{320 \text{ nm}} I(\lambda) * W(\lambda) * d\lambda$$

Erytérové akční spektrum se používá pro hodnocení vlivu UV záření na poškození lidské pokožky, protože její spálení je jeho častým škodlivým důsledkem.

WHO a IARC (2005) klasifikuje UVI do 5 kategorií: nízký (1-2), střední (3-4), vysoký (5-6), velmi vysoký (7-8) a extrémní (9 a vyšší). Na Obr. 7 vidíme hodnoty UV indexu a k nim uvedenou dobu expozice, ekvivalentní 1 dávce erytérového záření (SED).

UV index	Number of SED/hour	Power of the sun	Duration of exposure equivalent to 1 SED
1	1	Weak	2h20
2	2	Weak	1h10
3	2.5	Medium	45 mn
4	3.5	Medium	35 mn
5	4.15	Strong	30 mn
6	5	Strong	25 mn
7	6	Very strong	20 mn
8	7	Very strong	18 mn
9	8.5	Extreme	16 mn
10	9.5	Extreme	14 mn
11	10.5	Extreme	12 mn

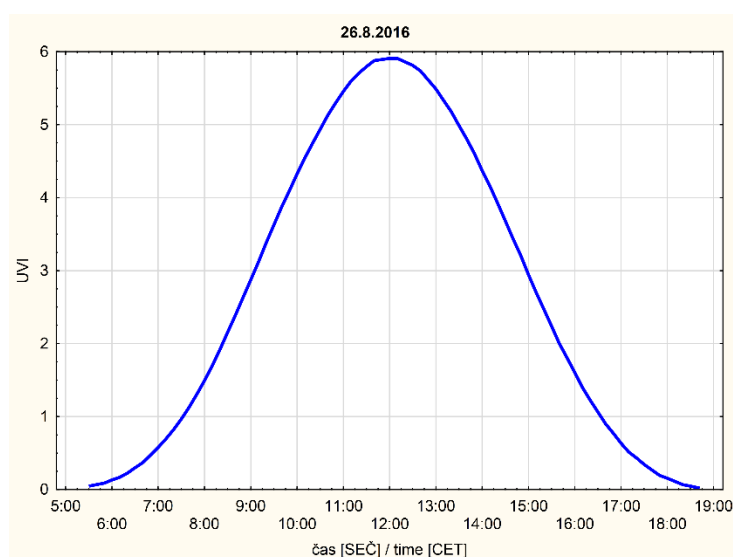
Obr. 7: UV index a standartní dávky erytémového záření (SED), mn = minuty (WHO a IARC, 2005)

5 Závislost UV indexu na geografických parametrech a meteorologických podmínkách

Sluneční UV záření, které dopadá na zemský povrch, je ovlivněno mnoha komplikovanými procesy rozptylu a absorpce v atmosféře a na povrchu. Těmto procesům je třeba porozumět, aby bylo možné popsat charakteristiky UV záření v globálním měřítku, předpovídat jeho vývoj v budoucnosti a modelovat vývoj minulý (Kerr a Seckmeyer, 2003). Intenzita UV záření při zemském povrchu je ovlivňována řadou faktorů. Mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující intenzitu UV záření patří podle Vaníčka a kol. (1999) atmosférický ozón, výška Slunce nad obzorem, nadmořská výška, atmosférický rozptyl, oblačnost a albedo povrchu.

Výška slunce nad obzorem

Jedná se o jeden z hlavních faktorů ovlivňující hodnoty UVI. Jde o úhel mezi horizontální plochou a paprskem, který dopadá ze Slunce na danou plochu. Často se používá tzv. zenitový úhel Slunce SZA (v angl. solar zenith angle), což je úhel mezi zenitem a směrem ke slunci. Pokud se Slunce nachází v zenitu, je záření nejintenzivnější. Důvodem je, že paprsky procházejí atmosférou k povrchu po kratší dráze a dochází tak k menším energetickým ztrátám (Vaníček a kol., 1999). Protože UV záření závisí na výšce slunce nad obzorem, mění se se zeměpisnou šířkou, roční a časovou periodou během roku. Nejvyšší ozáření nastává v tropech, v létě, v poledne. Průběh hodnot UVI během dne můžeme vidět na Obr. 8, kde je krásně vidět, že maxima během dne nastávají okolo 11:30 do 12:30 SEČ.



Obr. 8: Průběh hodnot UV indexu během jasného dne (Metelka, 2018)

Oblačnost

Oblačnost je jedním z faktorů, které výrazně ovlivňují UV záření dopadající na zemský povrch. Její efekt je ale velice obtížné kvantifikovat, protože oblaka jsou časově a prostorově velmi variabilní, ať už se jedná o jejich optickou tloušťku, tvar nebo mikrofyzikální optické vlastnosti jako například velikost a tvar oblačných částic (Kerr a Seckmeyer, 2003). Oblačnost by obecně měla snižovat UV záření, ale za určitých podmínek může malé množství oblačnosti vést k zesílení záření.

Vliv oblačnosti na UV záření popisuje tzv. faktor modifikace oblaků CMF (angl. cloud modification factor). CMF je poměr naměřeného slunečního záření (E_{means}) a odpovídající hodnoty slunečního záření při jasné obloze (E_{clear}) (Juzeniene a kol. 2011). Hodnoty CMF, uvedeny v Tab. 1, vyjadřují podíl záření, které oblačností projde, v porovnání s dopadajícím zářením.

$$CMF = \frac{E_{\text{means}}}{E_{\text{clear}}}$$

TYP OBLAČNOSTI	MNOŽSTVÍ OBLAČNOSTI (osminy)			
	0-2	3-4	5-6	7-8
VYSOKÁ	1,0	1,0	1,0	0,9
STŘEDNÍ	1,0	1,0	0,8	0,5
NÍZKÁ	1,0	0,8	0,5	0,2
MLHA	-	-	-	0,4
DĚŠŤ	-	-	-	0,2

Tab. 1: Typické hodnoty CMF (Cloud modification factor) pro různé typy a množství oblačnosti. (Vaniček a kol., 1999)

Nadmořská výška

S rostoucí nadmořskou výškou intenzita UV záření roste, vlivem kratší dráhy uražené slunečním zářením atmosférou ve vyšších nadmořských výškách. Měření ukazují, že intenzita UV záření se zvyšuje o 6-8 % na 1 000 m nadmořské výšky (Vaniček a kol., 1999). Allaart a kol. (2004) se ve článku zmiňují o tom, že ve vyšších nadmořských výškách s absencí sněhu se

UVI zvýší o 5 % v důsledku snížení Rayleighova rozptylu, ale pokud se ve stejné nadmořské výšce objeví sněhová pokrývka, bylo pozorováno, že dojde k mnohem výraznějšímu zvýšení UVI hodnot.

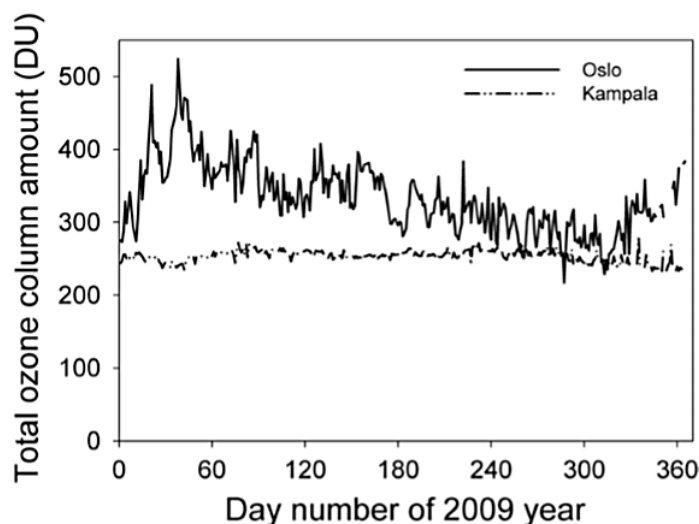
Albedo zemského povrchu

Část UV záření, které dosáhne zemského povrchu, je absorbováno a část se odráží zpět do atmosféry. Množství odraženého záření závisí hlavně na vlastnostech povrchu, na které záření dopadá. Tyto vlastnosti mohou být popsány tzv. albedem povrchu, což je podíl záření odraženého od povrchu a záření přicházejícího na povrch (Dahlback, 2008). Hodnoty albeda se pohybují od 0 do 1. Jeho hodnota závisí na typu povrchu, topografii, vlnové délce a také na úhlu dopadu záření (Juzeniene a kol., 2011). V UV oblasti se albedo povrchu mírně liší od albeda ve viditelném světle, kde pro nový sníh je albedo ve viditelné i UV oblasti kolem 0,8, pro běžný povrch bez sněhové pokrývky je ve viditelné oblasti kolem 0,2, ale v UV oblasti jen kolem 0,05 (Metelka, 2018). Většina přírodních povrchů (tráva, půda, voda) odráží méně než 10 % dopadajícího UV záření, písek odráží přibližně 25 % UV záření, a čerstvý sníh může odrážet až 80 % UV záření (Vaníček a kol., 1999). Albedo sněhu silně závisí na typu a stáří sněhové pokrývky. Stárnutí a tání sněhu zvyšuje velikost sněhových zrn a vede k poklesu albeda (Juzeniene a kol., 2011). Právě přítomnost sněhové pokrývky v okolí stanic měřících UV záření, zvyšuje naměřené hodnoty UV záření, a to dokonce i v případě, že se sněhová pokrývka nachází několik kilometrů daleko od dané stanice.

Atmosférický ozón

Nejdůležitějším parametrem popisujícím obsah ozónu je celkový ozónový sloupec. Ten se obvykle měří v Dobsonových jednotkách (DU) a je definovaný jako výška sloupce (v 10^{-5} m) za standardních podmínek teploty (273 K) a tlaku (1 atm) (Calbó a kol., 2005). Ozón pohlcuje významnou část UV záření dopadajícího na horní hranici atmosféry, avšak delší vlnové délky pohlcuje slaběji (UV-A) a krátké vlnové délky UV záření silněji (UV-C) (Meleti a kol., 2009). Nejvyšší množství ozónu v celkovém ozónovém sloupci se nachází ve vysokých zeměpisných šířkách v zimě a na jaře, a naopak nejnižší množství bývají v tropech. To dokazuje Obr. 9, kde Oslo reprezentuje vysoké zeměpisné šířky a Kampala, hlavní město Ugandy, reprezentuje tropy. Důvodem je cirkulace vzduchu ve stratosféře charakteristická rychlejším pohybem v tropech a pomalejším pohybem ve středních a vyšších zeměpisných šířkách. Většina atmosférického ozónu se nachází ve stratosféře (20-30 km nad zemským povrchem) v oblasti známé jako ozónová vrstva. Ozón se ve větší míře nenachází nejen ve stratosféře, ale i

v troposféře (troposférický ozón). Jeho množství se zde pohybuje kolem 10 % celkového ozónového sloupce (Juzeniene a kol., 2011). Troposférický ozón vzniká díky sérii fotochemických a chemických reakcí, které zahrnují oxidy dusíku, těkavé organické sloučeniny a sluneční UV záření (Juzeniene a kol., 2011). Přestože množství ozónu se sleduje zejména v souvislosti s rizikem nárůstu UV indexu, jeho vliv na hodnoty UVI je v porovnání s oblačností velmi malý.



Obr. 9: Denní výkyvy celkového množství ozónu v roce 2009 v rovníkové oblasti (Kampala-Uganda) a v oblasti s vysokou zeměpisnou šířkou (Oslo-Norsko) (Juzeniene a kol., 2011)

Atmosférický rozptyl

Množství slunečního záření dopadajícího na zemský povrch je ovlivňováno rozptylem na molekulách vzduchu. Sluneční záření dopadající na zemský povrch se skládá z přímého a rozptýleného (difúzního) záření. Sluneční záření je rozptylováno jednak na molekulách vzduchu (tzv. Rayleighův rozptyl) a také na větších částicích, kterými mohou být aerosoly anebo vodní kapky. Přímá složka záření se skládá z paprsků, které prošly přímo atmosférou bez rozptýlení nebo absorbování. Rozptýlená složka záření se skládá z paprsků, které se před dopadem na zemský povrch alespoň jednou odrazily od molekuly vzduchu nebo aerosolu. Rozptyl záření na molekulách vzduchu je silně závislý na vlnové délce, záření kratších vlnových délek je rozptylováno více než záření s delšími vlnovými délkami (Metelka, 2018). Pro UV záření je rozptyl na molekulách intenzivnější než pro viditelné záření, pro UV-B záření je při povrchu poměr přímé a difúzní složky kolem 1:1 (Vaníček a kol., 1999). Naopak přítomnost aerosolových částic vede ke značnému utlumení UV záření.

6 Vlastní případová studie na vybraných stanicích v ČR

V této kapitole se snažím ověřit, pomocí statistických metod, vlivy jednotlivých geografických a meteorologických faktorů na hodnoty UV indexu v ČR. K tomu používám data naměřená na 4 stanicích v ČR, a to na stanicích v Hradci Králové, Kuchařovicích, Košetících a Labské boudě. Nadmořská výška a poloha stanic je uvedena v Tab. 2, stanice jsou seřazeny podle nadmořské výšky.

stanice	zeměpisná šířka	zeměpisná délka	nadmořská výška stanice
Hradec Králové	50° 12' s. š.	15° 49' v. d.	278 m n. m.
Kuchařovice	48° 52' s. š.	16° 4' v. d.	334 m n. m.
Košetice	49° 33' s. š.	15° 6' v. d.	532 m n. m.
Labská bouda	50° 46' s. š.	15° 32' v. d.	1315 m n. m.

Tab. 2: Tabulka s geografickými parametry jednotlivých stanic

6.1 Data

Jako vstupní data, byly použity denní desetiminutové hodnoty intenzity erytérového UV záření (mW.m^{-2}), stav půdy měřený ve 14:00 pro odhad a následný přepočet na hodnoty albeda v UV oblasti a průměrná intenzita globálního záření (W.m^{-2}) v 10 minutových intervalech. Tato data byla poskytnuta pro všechny čtyři vybrané stanice za období 2010-2017 od Solární a ozónové observatoře v Hradci Králové.

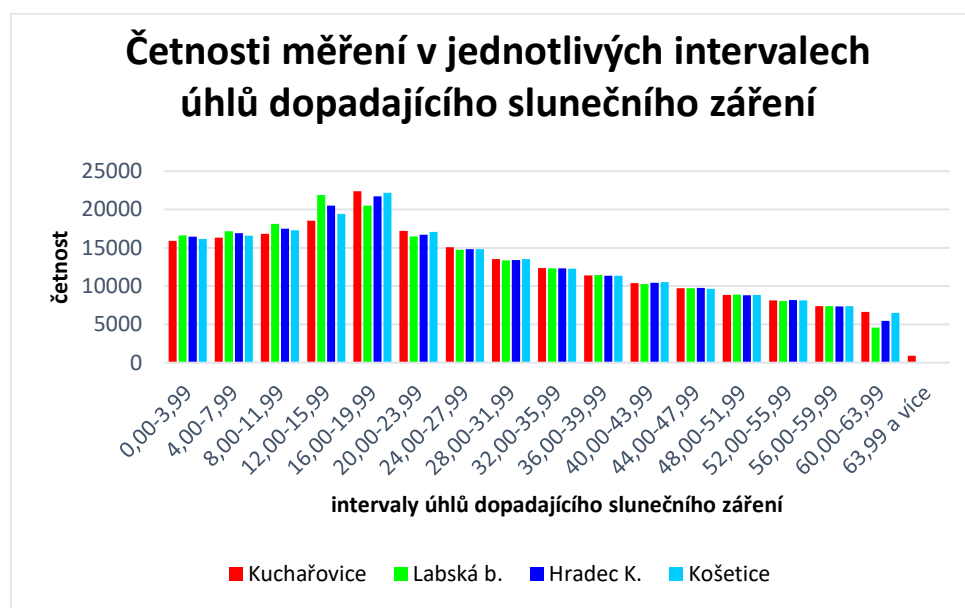
Je třeba zmínit, že použitá data obsahují chybějící a nesmyslné hodnoty, které bylo potřeba najít manuálně a z výpočtů odstranit. Příkladem můžou být vysoké hodnoty UVI v intervalu úhlu dopadajícího slunečního záření 0,00 – 3,99. Některá data byla měřena až od roku 2011, určitá měření skončila dříve než v roce 2017 (např. souvislé pozorování na stanici Labská bouda skončilo v roce 2014).

6.2 Metody

Prvním krokem bylo vypočítání úhlu dopadajícího slunečního záření pro každou stanici v časových intervalech 10 minut. K tomuto výpočtu bylo potřeba znát hodnotu deklinace, u které se muselo brát v potaz, jaká je hodina a den v roce (popř. pokud je daný rok přestupný). Následně jsem potřebovala přepočítat čas na pravý sluneční čas, jehož vstupní parametry byly zeměpisná šířka a délka, časové pásmo a daná hodina a minuta dne. Poté jsem veškerá data ke

stanicím seřadila podle hodnoty úhlu a rozdělila do 17 intervalů po 4 stupních. V této fázi bylo cílem zkoumat, jaký vliv má úhel dopadajících slunečních paprsků na UVI.

Na Obr. 10 jsou zobrazeny četnosti měření UVI v jednotlivých intervalech úhlů výšky slunce nad obzorem. Stanice Kuchařovice má jako jediná hodnoty UVI pro úhel dopadu slunečních paprsků větší než 63,99 stupňů, je to z toho důvodu, že se nachází nejjižněji ze čtyř vybraných stanic. Nejvíce hodnot UVI je v intervalu úhlů od 12,00 -19,99. Důvodem je, že úhlová rychlost Slunce se vůči nám během dne mění. Nejmenší úhlové rychlosti dosahuje v poledních hodinách, tím pádem je měření pro vyšší úhly slunce nad obzorem víc. A naopak největší úhlové rychlosti dosahuje při západu (východu) Slunce, tudíž je tento interval úhlů zastoupený méně často, a to i přestože Slunce prochází úhly do cca 20° nad obzorem každý den v průběhu celého roku. Četnost UVI při vysokých úhlech je nejnižší, protože Slunce v zimních měsících tak vysoko nevystoupá.



Obr. 10: Četnosti měření v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření pro jednotlivé stanice

Dalším krokem bylo roztřídit hodnoty UV indexu, seřazené do jednotlivých intervalů úhlů, podle hodnoty albeda (viz. Tab. 3). V UV oblasti je hodnota albeda pro nový sníh 0,8, pro běžný povrch bez sněhové pokrývky je hodnota kolem 0,05 (Metelka, 2018). Pro zkoumání vlivu albeda na UVI byla vybrána jen stanice Labská bouda (v grafech zobrazena zelenou barvou) z důvodu, že na ostatních stanicích se vyskytují hodnoty albeda vyšší než 0,3 velmi málo.

Stav půdy	Albedo v UV oblasti
<i>Suchá, vlhká, mokrá (kaluže), holá a zmrzlá půda</i>	0,05
<i>Sníh nebo tající sníh s ledem nebo bez ledu (méně než z poloviny)</i>	0,3
<i>Sníh nebo tající sníh s ledem nebo bez ledu (více než z poloviny, ale ne úplně)</i>	0,6
<i>Sníh nebo tající sníh s ledem nebo bez ledu (úplně)</i>	0,8
<i>Suchý sypký sníh (více než z poloviny, ale ne úplně)</i>	0,6
<i>Suchý sypký sníh (úplně)</i>	0,8

Tab. 3: Stav půdy a hodnoty albeda v UV oblasti

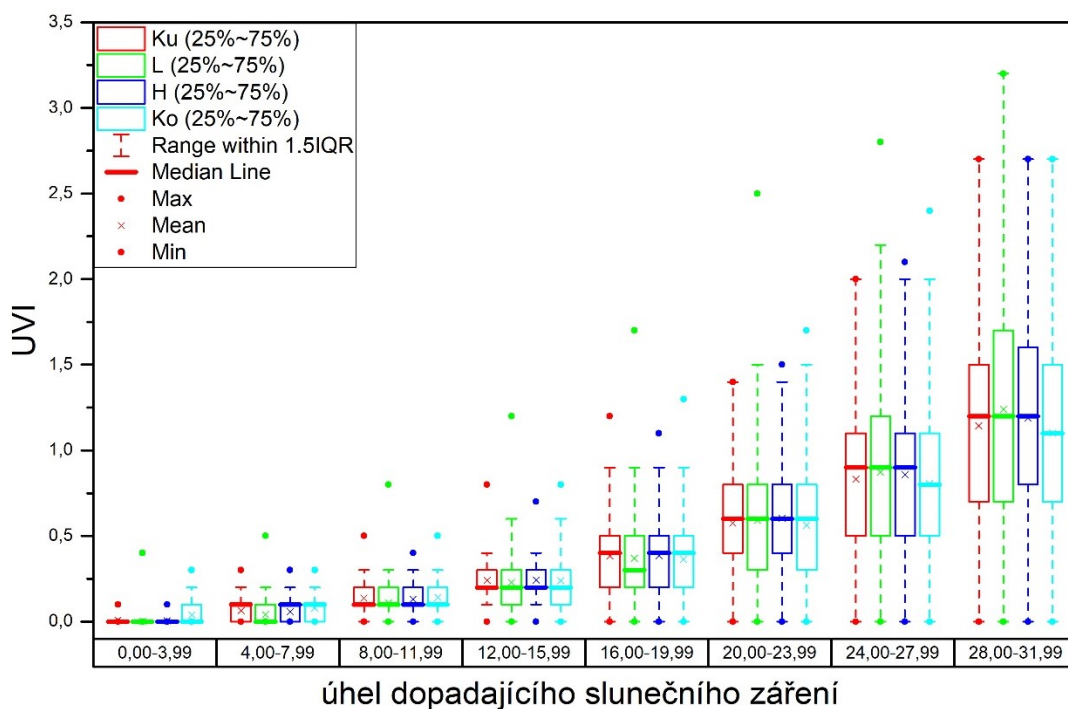
Poslední krok byl zaměřen na vliv oblačnosti na hodnoty UV indexu. K definici dní s malou a velkou oblačností byly využity údaje o intenzitě globálního záření (W/m^2) s časovým krokem 10 minut. Pro sledování jsem zvolila jen letní měsíce (červen, červenec, srpen) a stanice Hradec Králové (v následujících grafech zobrazena modře) a Labská bouda (zobrazena zelenou barvou). Tyto stanice jsem si vybrala z toho důvodu, že z grafů kromě vlivu oblačnosti by měl být patrný i vliv nadmořské výšky (stanice mají velký rozdíl nadmořských výšek-viz Tab. 2). Protože hodnoty globálního záření se během dne značně mění v závislosti na výšce slunce nad obzorem, zaměřila jsem se pouze na hodnoty UVI pro úhel slunečních paprsků od 44 do 56 stupňů. Pro tyto případy jsem z intenzity globálního záření spočítala hodnotu 10% a 80% percentilu pro sledované měsíce na obou stanicích. Z dat jsem pak vybrala jen ty případy, u kterých byla hodnota albeda 0,05, tedy půda bez sněhové pokrývky. Jako hodnoty UVI při zatažené obloze jsem pak označila ty, kde byla hodnota intenzity globálního záření menší než 10% percentil, a jako hodnoty UVI dosažené za jasné oblohy ty, kde hodnota intenzity globálního záření přesáhla 80% percentil. Porovnáním hodnot UVI ve vybraných datových souborech jsem poté zkoumala, jaký má vliv oblačnost na hodnoty UVI. Statistickou významnost jsem testovala pomocí Studentova t-testu pro testování rozdílu průměrů dvou nezávislých souborů.

6.3 Výsledky

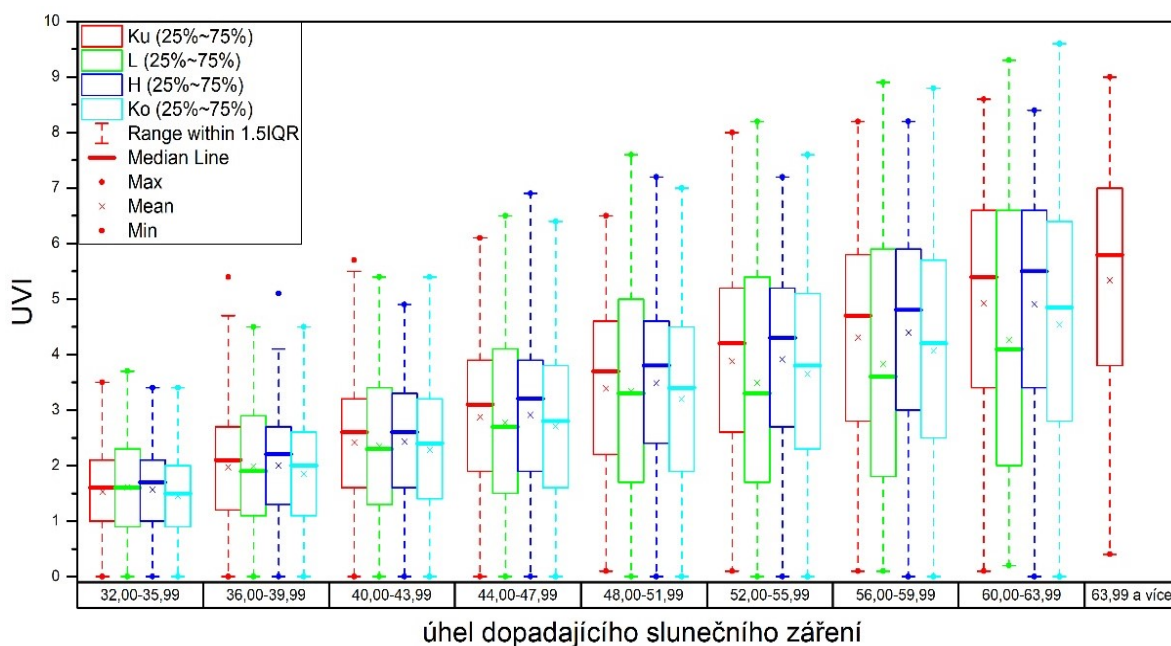
6.3.1 Vliv výšky slunce nad obzorem

Jako první byl zkoumán vliv úhlu dopadajícího slunečního záření na hodnoty UVI. Jak je vidět na Obr. 11 a Obr. 12, s rostoucím úhlem dopadajícího slunečního záření, rostou hodnoty UVI. Je nutné říci, že tyto hodnoty jsou mimo jiné ovlivněny oblačností, zejména na stanici

Labská bouda, kde se v poledních hodinách vzhledem k nadmořské výšce často vytváří oblačnost (UV záření je výrazně utlumováno). Z grafů je také od úhlů 36 stupňů vidět vliv nadmořské výšky na variabilitu UVI, kde boxploty pro Labskou boudu (nejvýše položená stanice ze čtyř vybraných) zobrazují největší mezikvartilové rozpětí. Je to dáno tím, že množství a charakter oblačnosti způsobený vysokou nadmořskou výškou utlumuje UV záření víc, než oblačnost na níže položených stanicích (nízké hodnoty UVI) a naopak při bezoblačném (jasném) počasí jsou hodnoty UV záření vysoké vlivem menšího rozptylu a absorpci na aerosolech. U stanice Labská bouda mohou být vyšší hodnoty UVI také díky výskytu sněhové pokrývky, a to zejména na jaře (v nížinných oblastech se sněhová pokrýвка v jarních měsících téměř nevyskytuje a na horách se stále drží a zvyšuje UVI). Vysoké úhly dopadajícího slunečního záření (např. 50,00) nastávají jen v letních měsících, a tak největších dávek UV záření dostáváme obecně právě v létě.



Obr. 11: Hodnoty UVI, v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření (0,00-31,99). Ku=Kuchařovice, L=Labská bouda, H=Hradec Králové, Ko=Košetice. Rozlišení stupnice UV indexu je 0,5.

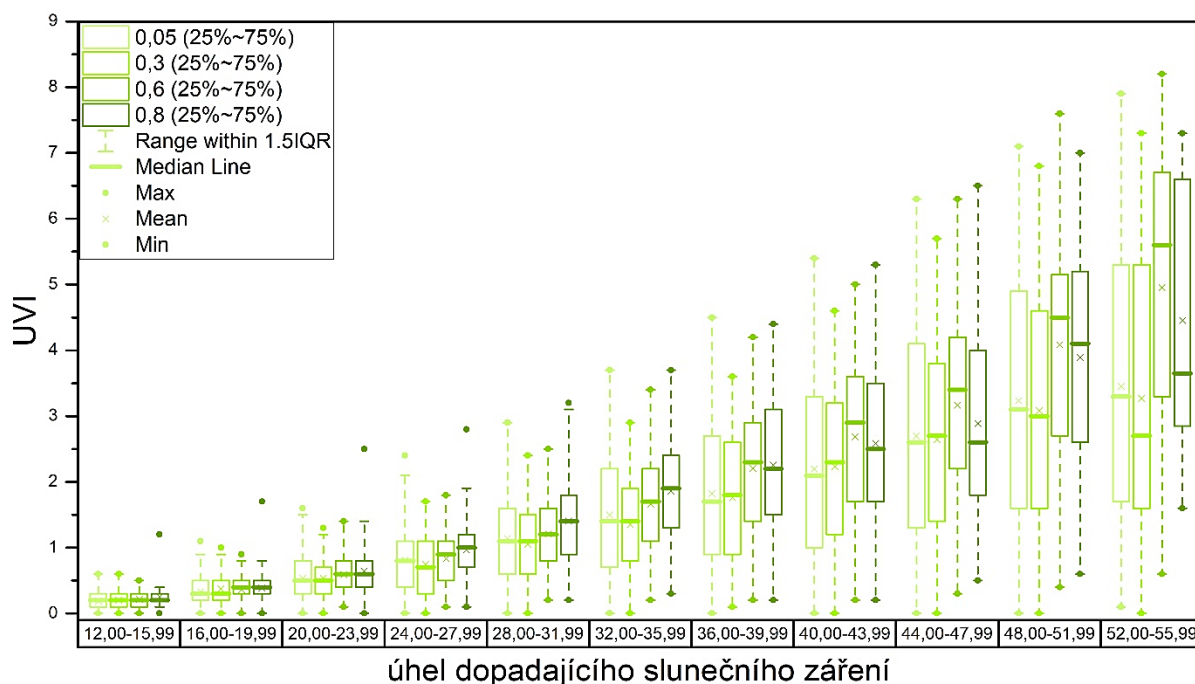


Obr. 12: Hodnoty UVI, v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření (32,00-63,99 a více). Rozlišení stupnice UV indexu bylo poupraveno na 1 oproti obr. 11 vzhledem k rozpětí hodnot při vyšších úhlech.

6.3.2 Vliv albeda

Druhým zkoumaným faktorem bylo albedo. Na Obr. 13 jsou znázorněny hodnoty UVI pro jednotlivé hodnoty albeda (nejsvětlejší odstín reprezentuje hodnotu albeda 0,05 a nejtmavší odstín nejvyšší hodnotu albeda 0,8). S rostoucí hodnotou albeda roste hodnota UVI, ale pouze do výšky slunce 36,00 stupňů. Je-li slunce výš nad obzorem, UV indexu dosahuje nejvyšších hodnot při albedu 0,6, tedy pokud je půda pokrytá čerstvým či starším sněhem pouze částečně.

Zde bych chtěla zmínit, že hodnoty UVI nemusí odpovídat skutečné intenzitě UV záření, které je vystavena lidská pokožka, protože pro výpočet UVI se používá pouze intenzita UV záření dopadajícího na horizontální vodorovnou plochu, zatímco na člověka působí i odražené záření.



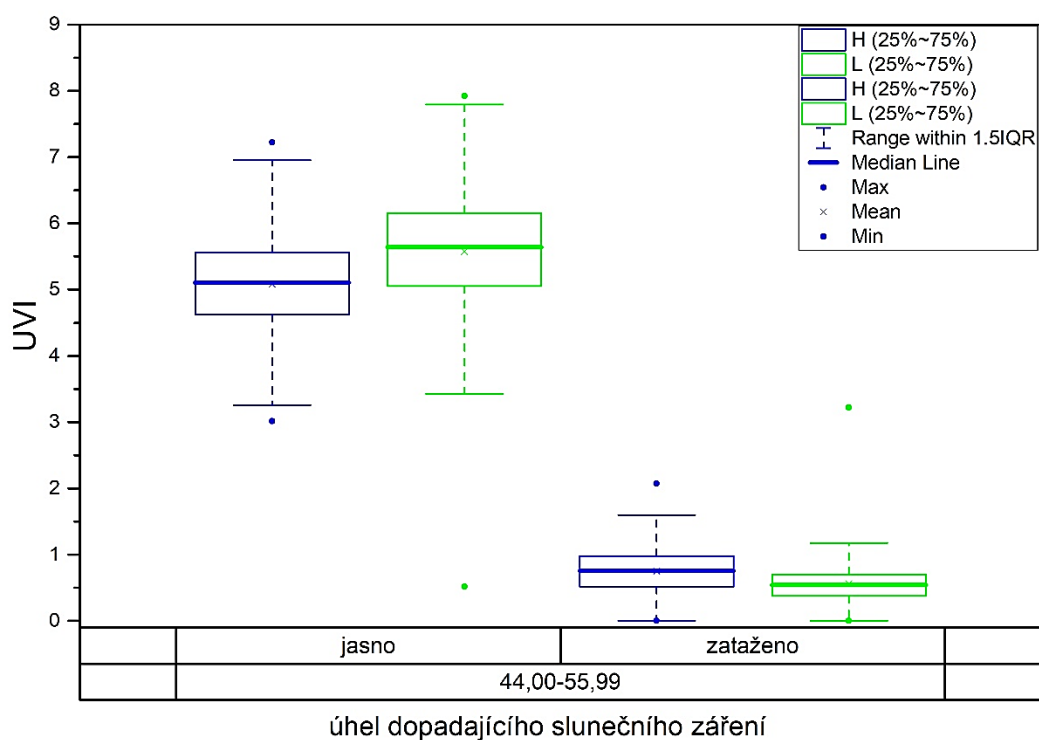
Obr. 13: Hodnoty UVI na stanici Labská bouda, při daných hodnotách albeda, v jednotlivých intervalech úhlů dopadajícího slunečního záření

6.3.3 Vliv oblačnosti a nadmořské výšky

Posledním zkoumaným faktorem ovlivňujícím hodnoty UVI byla oblačnost. Pro tuto analýzu bylo nutné vybrat pouze případy, které měly stejné albedo, aby hodnoty UVI nebyly tímto ovlivněny. Výška slunce nad obzorem byla zvolena v intervalu 44,00 až 55,99 stupňů (kolem poledne), kdy se hodnoty UVI pohybují nejčastěji v rozmezí 1,5 až 5,5 (viz Obr. 12). Ukázalo se, že přítomnost oblaků výrazně snižuje UVI na obou stanicích (viz Obr. 14). Na stanici Hradec Králové (modré boxploty) průměrně o 4,3, na stanici Labská bouda (zelené boxploty) o 5,1. V obou případech je rozdíl statisticky významný na hladině 0,001 (zamítám hypotézu, že průměry obou souborů jsou stejné).

Výběr případů se stejným albedem a rozdělením intervalů podle množství dopadajícího globálního záření navíc umožnil demonstrovat vliv nadmořské výšky na UVI. Tentokrát ovšem porovnáváme modrý a zelený boxplot a mediány těchto souborů při jasné obloze, které reprezentují 3178 (Hradec Králové) respektive 1985 (Labská bouda) případů. Hodnota mediánu při jasném stavu počasí na stanici Labská bouda je 5,64, což je o 0,54 více než na stanici Hradec Králové. I tentokrát je rozdíl statisticky významný na hladině 0,001 a v přepočtu jde o zvýšení UVI o 0,52 /1000 m. Je to tím, že s rostoucí nadmořskou výškou intenzita UV záření roste, vlivem kratší dráhy slunečního záření atmosférou ve vyšších nadmořských výškách (viz.

kapitola 5). Uvedený postup nelze použít pro odhad vlivu nadmořské výšky při zatažené obloze, neboť charakter oblačnosti je na obou stanicích zcela rozdílný a údaje o globálním záření jsou z tohoto pohledu nedostačující. Sledované úhly výšky slunce jsou totiž dosahovány kolem poledne, kdy se na horách tvoří víc oblačnosti než v nížinách. Často jsou vysoké nadmořské výšky přímo „v oblaku“, který se pozorovateli jeví jako mlha a dochází k mnohem většímu zeslabení UV záření, než při zatažené obloze v nížinách Tab. 1).



Obr. 14: Hodnoty UVI při jasné a zatažené obloze na stanicích Hradec Králové (modrá) a Labská bouda (zelená) v intervalu úhlu dopadajícího slunečního záření 44,00-55,99

7 Diskuse

V této práci byly pomocí naměřených hodnot UV indexu ověřovány teoretické a pozorované vztahy mezi UVI a geografickými a meteorologickými parametry. Kvalita naměřených data nebyla stoprocentní, v řadách se vyskytovaly chyby. Ty se však podařilo identifikovat a do výpočtů nevstupovaly. Některé řady začínají až v roce 2011 nebo končí před rokem 2017, přesto je celkový počet naměřených hodnot na každé stanici kolem 300 000, což je dostatečné pro záměry předložené práce. Měření probíhala na stanicích ČHMÚ, které dodržují směrnice WMO pro správné umístění měřících přístrojů a přístroje byly pravidelně kalibrovány.

Závislost UVI na úhlu dopadajících slunečních paprsků je rostoucí, se zvyšujícím se úhlem dopadu, což je v souladu s očekáváním. Hodnoty UVI se zvyšujícím se úhlem dopadajícího slunečního záření rostou exponenciálně až do úhlu zhruba 28 stupňů, potom je závislost přibližně lineární. Nejčastěji byl UVI měřen při úhlech od 12,00 -19,99. Jak bylo již uvedeno, důvodem je úhlová rychlost Slunce. Ta se vůči nám během dne mění, nejmenší úhlové rychlosti dosahuje Slunce v poledních hodinách, naopak největší úhlové rychlosti dosahuje při západu (východu) Slunce. Nejvyšší hodnota UVI, která se v naměřených datech vyskytla, je hodnota 9,6 na stanici Košetice (při výšce slunce nad obzorem větší než 63,99 stupňů), což je způsobeno polohou stanice (nejjižněji položená stanice). Na ostatních stanicích dosáhl UVI hodnot 9,3 (Labská bouda), 9,0 (Kuchařovice) a 8,4 (Hradec Králové). Vysoká hodnota na stanici Labská bouda, ležící nejseverněji, je způsobena její vysokou nadmořskou výškou.

Závislost UVI na albedu byla zkoumána na stanici Labská bouda. Pozorovaná data potvrzují, že přítomnost sněhové pokrývky zvyšuje hodnoty UVI. Od úhlu 36,00 stupňů dosahuje UVI nejvyšších hodnot při nesouvislé sněhové pokrývce. Protože byly posuzovány všechny hodnoty UVI, může zde hrát roli oblačnost, nebo i množství ozónu. Zde bych ráda upozornila na skutečnost, že hodnoty albeda v této práci byly určeny pouze ze stavu půdy. Tato metoda určení albeda je podle mě nepřesná. K získání spolehlivější závislosti UVI na albedu, by bylo vhodné použít jinou metodu měření albeda, například měřit intenzitu dopadajícího a odraženého UV záření a následně určit hodnotu albeda.

Závislost UVI na množství oblačnosti byla zkoumaná na stanicích Hradec Králové a Labská bouda. Tyto stanice byly vybrány z toho důvodu, že leží relativně blízko u sebe (horizontální vzdálenost 66 km), ale jejich nadmořská výška se liší o 1037 m, a proto na nich lze kromě vlivu oblačnosti demonstrovat i vliv nadmořské výšky. Závislost UVI na oblačnosti

vyšla v souladu s očekáváním, že oblačnost výrazně snižuje hodnoty UVI. Podle Allaarta a kol. (2004) neporušená vrstva oblačnosti snižuje UVI o 50 až 60 %. Na rozdíl od Allaarta a kol. (2004) naše analýza prokázala utlumení UVI oblačností o 84 % na stanici Hradec Králové a o 90% na stanici Labská bouda při výškách Slunce nad obzorem od 44,00 do 55,99 stupňů. Dělení na jasné a oblačné dny s použitím intenzity globálního záření nám ovšem nic neříká o charakteru a výšce oblačnosti. K získání spolehlivějších výsledků by bylo vhodné použít údaje o pokrytí a typu oblačnosti v jednotlivých patrech ze záznamů SYNOP sestavovaných každou hodinu.

Při zkoumání vlivu oblačnosti na UVI se podařilo díky výběru případů při bezoblačné obloze prokázat také závislost UVI na nadmořské výšce. Ta se neprojevila na Obr. 11 a Obr. 12, kde byl její vliv překryt vlivem oblačnosti. Porovnáním hodnot UVI pouze za jasné oblohy jsme získali vliv nadmořské výšky na UVI. Podle Vaníčka a kol. (1999) se intenzita UV záření zvyšuje o 6-8 % na 1 000 m nadmořské výšky, což se shoduje s výsledky na Obr. 14, při srovnání mediánů (10,2 % na 1000 m nadmořské výšky).

Jedním z faktorů ovlivňujících UV záření je také ozón, který byl v této studii zanedbán. Jednak oblačnost má větší vliv než ozón, kde při změně ozónu o 1% dojde ke změně UVI asi jen o 1 až 1,3% (Metelka, 2018). A za druhé relativní vzdálenosti mezi stanicemi jsou malé a množství ozónu nad naším územím lze považovat za prostorově homogenní a stejné. Dalším nezohledněným faktorem byl atmosférický rozptyl, který má také vliv na hodnoty UV záření. Zohlednění tohoto faktoru je složité, a mohlo by být předmětem dalšího výzkumu.

8 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo vyhledat v odborné literatuře obecné vztahy mezi UV indexem a jednotlivými geografickými a meteorologickými parametry. Následně názorným zpracováním naměřených dat ukázat, jakým způsobem vybrané faktory ovlivňují hodnoty UV indexu na čtyřech stanicích v České republice.

Tato práce ve své rešeršní části poskytuje všeobecné informace o UV záření a metody jeho měření, shrnuje účinky UV záření na živé organismy a uvádí definici UV indexu. Dále obsahuje výčet hlavních faktorů, které hodnoty UV indexu ovlivňují. V praktické části je potom vliv vybraných faktorů ověřen s využitím dat poskytnutých Solární a ozónovou observatoří v Hradci Králové. Jako vstupní data byly použity hodnoty intenzity erytémového UV záření, stav půdy a průměrná intenzita globálního záření měřené v 10 minutových intervalech v letech 2010-2017. Protože největší vliv na UV index má výška slunce nad obzorem, bylo nejprve potřeba vypočítat úhel dopadajícího slunečního záření pro každou stanici s časovým intervalem 10 minut. Hodnoty UV indexu se dále porovnávaly v rámci intervalů úhlů udávajících výšku slunce nad obzorem. Vliv albeda byl ověřován jen na stanici Labská bouda, protože na ostatních stanicích se vyšší hodnoty albeda nevyskytly dostatečně často. Posledním krokem bylo studování, jaký vliv má oblačnost na hodnoty UV indexu. Pro zkoumání této závislosti byly vybrány dvě stanice (Hradec Králové a Labská bouda). Vycházelo se z dat intenzity globálního záření jen pro letní měsíce (červen, červenec, srpen). Z intenzity globálního záření se spočítaly 10% a 80% percentily, pomocí nichž byly definovány zatažené a jasné dny. Ve dnech bez oblačnosti byl také zhodnocen efekt nadmořské výšky na hodnotu UVI.

Bylo prokázáno, že největší vliv na hodnoty UVI má úhel dopadajícího slunečního záření, který je ale velmi modifikován množstvím oblačnosti. Obecně se hodnoty UVI s rostoucím úhlem dopadajícího slunečního záření zvyšují, největších dávek UV záření tedy dostáváme kolem poledne při kulminaci Slunce. Jelikož se zenitový úhel během roku mění, největších hodnot dosahuje UVI v letním období. Výrazný účinek na hodnoty UVI má také oblačnost, kde při zatažené obloze dochází ke značnému útlumu UV záření. Útlum oblačností dosahuje 84 % na stanici Hradec Králové a 90 % na stanici Labská bouda. Za jasného počasí se dobře projevuje také vliv nadmořské výšky na UVI. Porovnání obou zmíněných stanic bylo dokázáno, že intenzita UV záření se zvyšuje téměř o 7 % při nárůstu nadmořské výšky o 1 000 m. Na stanici Labská bouda byl zkoumán prostřednictvím albeda vliv sněhové pokrývky na hodnoty UVI, který se uplatňuje hlavně v zimním období. Výsledky ukazují, že sněhová

pokrývka zvyšuje UV index od výšky slunce nad obzorem 12,00 stupňů. Přitom nesouvislá sněhová pokrývka má větší efekt, než když sníh zakrývá zem v souvislé vrstvě.

Výsledky této práce potvrzují závěry publikované v zahraničních časopisech. Přestože byly jednotlivé faktory zkoumány pouze na 4 stanicích v rámci relativně malého území, lze závěry zobecnit a využít pro zdokonalení výpočtu a předpovědi UV indexu. Výzkum by bylo možné v diplomové práci rozšířit o další faktory ovlivňující UV index (množství aerosolů v atmosféře, atmosférický ozón) a pracovat s delší časovou řadou, jelikož měření UV záření na stanicích stále pokračují. Vhodné by bylo také detailněji prozkoumat vliv oblačnosti na UV záření. Z analýzy delší časové řady by mohl vyplývat určitý trend UV indexu.

Vzhledem k prokazatelným negativním účinkům ultrafialového záření na lidské zdraví je důležité UV záření monitorovat a informovat obyvatelstvo aktuálních i očekávaných hodnotách UV indexu v průběhu celého roku.

9 Seznam použité literatury

ALLAART, M., VAN WEELE, M., FORTUIN, P., KELDER, H. (2004): An empirical model to predict the UV-index based on solar zenith angles and total ozone. *Meteorological Applications*, vol. 11, s. 59-65.

BARNES, P., W., STEPHAN, F., D., CALDWELL, M., M. (1990): Morphological responses of crop and weed species of different growth forms to ultraviolet-B radiation. *American Journal of Botany*, vol. 77, s. 1354-1360.

CALBÓ, J., PAGÉS, D., GONZÁLEZ, J. A. (2005): Empirical studies of cloud effects on UV radiation: A review. *Reviews of Geophysics*, vol. 43, s. 1-28.

CANCILLO, M. L., SERRANO, A., ANTÓN, M., GARCÍA, J. A., VILAPLANA, J. M. (2007): Improving the solar zenith angle dependence of broadband UV radiometers calibration. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, vol. 7, s. 17873-17892.

CCOHS (2016): Ultraviolet radiation, Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Dotupné z: http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/ultravioletradiation.html, (cit. 15.3.2018).

DAHLBACK, A. (2008): Global monitoring of atmospheric ozone and solar UV radiation. *Solar Radiation and Human Health*, s. 23-34.

DE GRUIJL, F. R. (1997): Health Effects from Solar UV Radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, vol. 72, s. 177-196.

FEISTER, U., GREWE, R., GERICKE, K. (1997): A method for correction of cosine errors in measurements of spectral UV irradiance. *Solar energy*, vol. 60, s. 313-332.

FIOLETOV, V., E., KERR, J., B., WARDLE, D., I., KROTKOV, N., A., HERMAN, J., R. (2002): Comparison of Brewer ultraviolet irradiance measurements with total ozone mapping spectrometer satellite retrievals. *Optical Engineering*, vol. 41, s. 3051-3061.

JUZENIENE, A., BREKKE, P., DAHLBACK, A., ANDERSSON-ENGELS, S., REICHRATH, J., MOAN, K., HOLICK, M. F., GRANT, W. B., MOAN, J. (2011): Solar radiation and human health. *Reports on Progress in Physics*, vol. 74, s. 1-56.

KALVOVÁ, J. (1997): Ozónová vrstva. Dotupné z:

<http://www.kolej.mff.cuni.cz/~lmotm275/RUZE/06/node2.html>, (cit. 2.4.2018).

KAZANTZIDIS, A., BAIS, A. F., GRÖBNER, J., HERMAN, J. R., KAZADZIS, S., KROTKOV, N., KYRÖ, E., DEN OUTER, P. N., GARANE, K., GÖRTS, P., LAKKALA, K., MELETI, C., SLAPER, H., TAX, R. B., TURUNEN, T., ZEREFOS, C. S. (2006): Comparison of satellite-derived UV irradiances with ground-based measurements at four European stations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, vol. 111, s. 1-7.

KERR, J. B., SECKMEYER, G. (2003): Surface Ultraviolet Radiation: Past and Future IPCC, Chapter 5. Global Ozone Research and Monitoring Project, vol. 47, s. 5.1 – 5.46.

LAJČÍKOVÁ, A., PEKÁREK, L. (2009): Ultraviolet Radiation and Its Health Impact. *Hygiena*, vol. 54, s. 57-61.

LEVELT, P. F., VAN DEN OORD, G. H. J., DOBBER, M. R., MALKKI, A., VISSER, H., DE VRIES, J., STAMMES, P., LUNDELL, J. O. V., SAARI, H. (2006): The ozone monitoring instrument. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, s. 1093-1101.

MÁJKOVÁ, L., LITSCHMANN, T. (1998): Úbytek stratosférického ozónu a pozorované abiotické poškození rostlin u nás. *AGRO*, vol. 5, s. 64-67.

MELETI, C., BAIS, A. F., KOUREMETI, N., GARANE, K., KAZADZIS, S., ZEREFOS, C. (2009): Factors affecting solar ultraviolet irradiance measured since 1990 at Thessaloniki, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 30, s. 4167-4179.

METELKA, L. (2018): Hodnoty clear-sky UV indexu na území ČR. *Meteorologické zprávy*, vol. 2.

SASAKI, H., SAKAMOTO, Y., SCHNIDER, C., FUJITA, N., HATSUSAKA, N., SLINEY, D. H., SASAKI, K. (2011): UV-B Exposure to the Eye Depending on Solar Altitude. *Eye and contact lens-science and clinical practice*, vol. 37, s. 191-195.

SECKMEYER, G., BAIS, A., BERNHARD, G., BLUMTHALER, M., BOOTH, C. R., DISTERHOFT, P., ERIKSEN, P., MCKENZIE, R. L., MIYAUCHI, M., ROY, C. (1999): Instruments to measure solar ultraviolet radiation - Part 1: Spectral instruments. WMO, vol. 1066, s. 1-36.

VANÍČEK, K., FREI, T., LITYNSKA, Z., SCHMALWIESER, A. (1999): UV- Index for the Public. Working Group 4 of the COST-713 Action “UVB Forecasting”, s. 1-26.

VANÍČEK, K., STANĚK, M. (2014): Upgrade technologických zařízení pro monitoring ozonové vrstvy a UV slunečního záření na území ČR. Meteorologické zprávy, vol. 67, s. 22-26.

VANÍČEK, K. (2005): Ozónová vrstva-Začíná obnova ozonové vrstvy, nebo hrozí vznik arktické ozonové díry? Vesmír, vol. 84, s. 471-473.

WANG, P., LI, Z., CIHLAR, J., WARDLE, D., I., KERR, J. (2000): Validation of an UV inversion algorithm using satellite and surface measurements. Journal of Geophysical Research, vol. 105, s. 5037-5048.

WHO (2014): Ultraviolet radiation and the INTERSUN Programme. Health effects of UV radiation. Dotupné z: http://www.who.int/uv/health/uv_health2/en/, (cit. 18.3.2018).

WHO, IRAC (2005): Exposure to artificial UV radiation and skin cancer. IARC-Working Group Reports, vol. 1, s. 1-64.

WMO (2002): Scientific assessment of ozone depletion. Global Ozone Research and Monitoring Project, s. 1-485.

WMO (2008): Guide to Meteorological Instruments and Methods of observation. Part I: Measurement of Meteorological Variables. Chapter 7: Measurement of Radiation, s. 1-41.